

## ⑫ 公開特許公報(A)

昭60-75525

⑤Int.Cl.<sup>4</sup>C 21 D 9/52  
8/02

識別記号

1 0 2

庁内整理番号

7371-4K  
7047-4K

④公開 昭和60年(1985)4月27日

審査請求 未請求 発明の数 1 (全6頁)

⑤4発明の名称 熱間圧延鋼材の材質調整方法

①特 願 昭58-181407

②出 願 昭58(1983)9月29日

⑦発明者 関 根 寛 川崎市中原区井田1618 新日本製鐵株式会社第一技術研究所内  
 ⑦発明者 高 橋 学 大分市大字西ノ洲1 新日本製鐵株式会社大分製鐵所内  
 ⑦発明者 江 坂 一 彬 大分市大字西ノ洲1 新日本製鐵株式会社大分製鐵所内  
 ⑦発明者 脇 田 淳 一 大分市大字西ノ洲1 新日本製鐵株式会社大分製鐵所内  
 ①出 願 人 新日本製鐵株式会社 東京都千代田区大手町2丁目6番3号  
 ⑦代 理 人 弁理士 秋 沢 政 光 外2名

## 明 細 書

## 1. 発明の名称

熱間圧延鋼材の材質調整方法

## 2. 特許請求の範囲

(1) 通常の炭素鋼を  $A_{r2}$  変態点以上の温度で圧延し、オーステナイト粒径、成分がいかに変化し、フェライトが生成する範囲の冷却速度でその後直ちに冷却し、フェライト粒の成長が無視できる温度で巻取りあるいは冷却停止して材質を調整する方法において、下記のフェライト粒径推定式を満足するオーステナイト粒径と冷却条件を設定して目標材質を形成することを特徴とする熱間圧延鋼材の材質調整方法。

$$\begin{aligned} \log d_{\alpha} = & A_1 + A_2 \times \frac{1}{A_{e3}} + A_3 \times \frac{1}{A_{e2}^2} \\ & + A_4 \times \frac{[O] \times \log(1+OR)}{A_{e3}} + A_5 \times \frac{[O] \times \log(1+OR)}{A_{e2}^2} \\ & + A_6 \times \frac{\log d_{\gamma}}{A_{e3}} + A_7 \times \frac{\log d_{\gamma}}{A_{e2}^2} \end{aligned}$$

$$- \frac{1}{3} \times \log d_{\gamma} - \log OR$$

 $d_{\alpha}$  : フェライト粒径 ( $\mu\text{m}$ ) $d_{\gamma}$  : オーステナイト粒径 ( $\mu\text{m}$ )

O : 炭素濃度 (%)

OR : 冷却速度 ( $^{\circ}\text{C}/\text{sec}$ ) $A_{e3}$  : 平衡変態温度 ( $^{\circ}\text{K}$ ) $A_1 \sim A_7$  : 定数 (統計学的手法により決定される定数)

## 3. 発明の詳細な説明

## 〔産業上の利用分野〕

本発明は熱間圧延によつて厚板及びホットストリップ等の鋼材を製造する際の鋼材材質の調整方法に関するものである。

## 〔従来技術〕

鋼材の材質は一般に組織で決まる項と粒径で決まる項とその他の強化機構の項の和で表示でき、例えば引張強さ(TS)については(1)式と書ける。

$$TS = \sigma_f \times V_f + \sigma_p \times V_p + \sigma_B \times V_B + \sigma_M \times V_M + a \times d_f^{-\frac{1}{2}} + \sigma_0 \dots (1)$$

ここで $\sigma$ は強度を、 $V$ は体積率を、 $d$ は粒径を示し、 $f$ はフェライト、 $p$ はパーライト、 $B$ はベーナイト、 $M$ はマルテンサイトを示す。なお $a$ は定数であり、 $\sigma_0$ は析出強化加工硬化等の項である。

本発明は上式中のフェライト粒径を精度よく推定ないしは適中させる手段を用いた鋼材の材質調整方法を提供するものである。

従来フェライト粒径を推定する方法は、全くないといつても過言ではない。強度の推定モデルにしても、成分は当然としても熱間圧延終了温度と巻取り又は冷却停止温度を変数にした簡単な重回帰モデルがあるばかりで、この中にもフェライト粒径という項目は入っていない。このように非厳密なモデルで、精度が悪くても使用に耐えたのは、従来の重回帰モデルはひとつの圧延工場での製品のみを対象とし、その製造条件も一定の加熱条件から圧延が開始され、(変態前のオーステナイト

3

間圧延鋼材の材質調整方法を提供するところであり、その要旨は、通常の炭素鋼を $A_{r3}$ 変態点以上の温度で圧延し、オーステナイト粒径、成分がいかに変化しようとフェライトが生成する範囲の冷却速度でその後直ちに冷却し、フェライト粒の成長が無視できる温度で巻取りあるいは冷却停止して材質を調整する方法において、下記のフェライト粒径推定式を満足するオーステナイト粒径と冷却条件を設定して目標材質を形成することを特徴とする熱間圧延鋼材の材質調整方法<sup>である</sup>。

$$\begin{aligned} \log d_f = & A_1 + A_2 \times \frac{1}{A_{e3}} + A_3 \times \frac{1}{A_{e3}^2} \\ & + A_4 \times \frac{[O] \times \log(1+OR)}{A_{e3}} + A_5 \times \frac{[O] \times \log(1+OR)}{A_{e3}^2} \\ & + A_6 \times \frac{\log d_r}{A_{e3}} + A_7 \times \frac{\log d_r}{A_{e3}^2} \\ & - \frac{1}{3} \times \log d_r - \log OR \end{aligned}$$

5

粒径を決める)圧延終了温度を含む圧延条件は製品厚から、また(変態挙動を支配する)冷却温度域や冷却速度も圧延終了温度と巻取温度から自動的に定まるという拘束下で使用されたからである。それゆえ従来のモデルは上記のような特定の場合にしか適用できない特殊なモデルであつたといふべきで、広汎に圧延条件やその後の冷却条件を変えることによつて圧延材の材質の範囲を拡大しようという新時代の要請には応えられない。

ところが、本発明者等が制御冷却の概念を基に実験・検討を重ねて追跡したところ、圧延後の冷却速度の制御によるフェライト粒径制御により幅広く材質を調整することが可能であり、かつフェライト粒径を高精度で予測できれば従来方法では得られない精度で熱間圧延後の鋼材の材質も推定できることがわかつた。

#### [発明の目的]

本発明は上記した知見をもとになされたものでその目的は鋼材の材質を支配する本質的な要因を制御することにより広範囲の材質に適用できる熱

4

- $d_f$  : フェライト粒径 ( $\mu m$ )
- $d_r$  : オーステナイト粒径 ( $\mu m$ )
- $O$  : 炭素濃度 (%)
- $OR$  : 冷却速度 ( $^{\circ}C/sec$ )
- $A_{e3}$  : 平衡変態温度 ( $^{\circ}K$ )
- $A_1 \sim A_7$  : 定数 (統計学的手法により決定される定数)

#### [発明の構成・作用]

以下本発明のモデルについて説明する。

フェライト粒径推定モデルを作成するためには、フェライト粒の核生成と成長を同時に扱う必要があるが、これは非常に困難であるので、本発明では簡易的に核生成段階と粒成長段階の2段階に分けた。

第1図は横軸に時間を取り縦軸に温度をとつて定速冷却線を書き入れたものである。冷却速度が大きくなると $A_{r3}$ が低下する。その変化を示したのが $A_{r3}$ の曲線であるが、次にこの曲線を低温側へずらした $T_1$ 、 $T_2$ という曲線を仮定する。 $T_1$

6

は変態開始時における平均のフェライト核発生数を説明するパラメーターとしての温度であり、 $T_2$ は上記のフェライト核の平均粒成長速度を決めるパラメーターとしての温度である。

$T_1, T_2$ は、それぞれ一般的な  $Ars$  曲線の記述にならつて次式により示すことができる。

$$T_1 = Ae_3 - a_1 \times [O] \times \log(1+OR) - h_1 \times (N_{rmax} - N_r) \dots (2)$$

$$T_2 = Ae_3 - a_2 \times [O] \times \log(1+OR) - h_2 \times (N_{rmax} - N_r) \dots (3)$$

ここで  $O$  は炭素濃度、 $OR$  は冷却速度、 $N_r$  はオーステナイト粒度番号、 $a_1, a_2, h_1, h_2, N_{rmax}$  は定数である。又、 $Ae_3$  は平衡温度であり、公知の例えば「Metallurgical Transactions A 9 A P 495 (1978) J. S. Kirkaldy and E. A. Bugaris」の下記評価式を使用することで求められる。

$$Ae_3 = T_0 + \Delta T \dots \dots (4)$$

$$T_0 = 1115 - 150.3 \times (\%O) + 216 \times (0.765 - \%O)^{4.26} \dots \dots (5)$$

7

ここで1は炭素を2はマンガンを3はシリコンを示し  $X_i$  はモル分率であり、 $R$  は気体定数である。更に、

$$\Delta G_0(T_0) = 3381 - 3.31 \times (T_0 - 1000) + 0.00983 \times (T_0 - 1000)^{1.96} - 7.11 \times \sin(0.034 \times (T_0 - 1000)) \dots \dots (7)$$

$$\Delta G_1(T_0) = 6411.4 + 3.2158 \times T_0 \dots \dots (8)$$

$$\Delta G_2(T_0) = -162318.2 + 259981 \times T_0 - 0.1067 \times T_0^2 \dots \dots (9)$$

$$\Delta G_3(T_0) = -24953.4 + 162335 \times T_0 - 197669 \times T_0 \times \ln T_0 \dots \dots (10)$$

$$\Delta H_0(T_0) = \Delta G_0(T_0) + T_0 \times (3.31 - 0.01929 \times (T_0 - 1000)^{0.96} + 0.243 \times \cos(0.034 \times (T_0 - 1000))) \dots \dots (11)$$

$$\Delta H_1 = -6411.1 \dots \dots (12)$$

$$\epsilon_{11} = 8.1 \dots \dots (13)$$

$$\epsilon_{12} = -4.6 \dots \dots (14)$$

$$\epsilon_{13} = 11.5 \dots \dots (15)$$

9

$$\frac{\sum_{i=2}^3 X_i \left\{ \exp\left[\frac{\Delta G_i(T_0)}{R T_0} + \epsilon_{1i} X_i\right] - (1 + \epsilon_{1i} X_i - \epsilon_{1i} X_i^2) \exp\left[\frac{\Delta G_0(T_0)}{R T_0} - \frac{\epsilon_{11}}{2} X_1^2\right] \right\}}{(1 - X_1) \Delta H_0 \exp\left[\frac{\Delta G_0(T_0)}{R T_0} - \frac{\epsilon_{11}}{2} X_1^2\right] + X_1 \times \Delta H_1 \exp\left[\frac{\Delta G_1(T_0)}{R T_0} + \epsilon_{11} X_1\right]} \times \dots \dots (16)$$

8

次にフェライト核生成温度に相当する  $T_1$  で粒径  $d_0$  のフェライト核が生じ、この粒径が  $T_2$  と  $d_0$  で決まる平均粒成長速度で増大し、最終的なフェライト粒径  $d\alpha$  が決定されると考える。そして平均粒成長速度  $\bar{G}$  が次式で与えられる。

$$\bar{G} = A \times \frac{e^{-\frac{B}{T_2}}}{d_0(T_1)} \dots \dots (17)$$

ここで  $A, B$  は定数である。

この  $\bar{G}$  を使うとフェライト粒径  $d\alpha$  は次のように書ける。

$$d\alpha = \bar{G} \times t \dots \dots (17)$$

ただし  $t$  は成長時間である。

次に前記  $d_0$  の決定であるが  $d_0$  は単位体積中の核生成数  $F$  に支配される。そして、核生成サイトはオーステナイト粒界と仮定すると、該核生成数  $F$  は単位体積中のオーステナイト粒界面積  $S_r$  と単位オーステナイト粒界面積当りの核生成数  $P$  とで  $F = P \times S_r$  と書けるので、 $d_0$  は次式により与えら

れる。

$$d_0 \propto \frac{1}{(P \times S_r)^{1/3}} \quad \dots \dots \dots (8)$$

$S_r$  は  $S_r \propto 1/d_r$  かつ  $P \propto T_1^{-n}$  であるとする  
と次式が得られる。

$$d_0 \propto d_r^{1/3} \times T_1^{n/3} \quad \dots \dots \dots (9)$$

ここで  $d_r$  はオーステナイト粒径である。

次に  $t$  は次式で示される。

$$t \propto \frac{T_2 - T'}{OR} \quad \dots \dots \dots (10)$$

ここで  $T'$  は第1図に示したフェライト粒の成長  
による変態の進行が実質的に終了する温度であり、  
これは冷却速度、鋼の成分には依らない。

以上より前記の最終的なフェライト粒径  $d\alpha$  は次  
式として求められる。

$$d\alpha = A' \times e^{-\frac{B}{T_2}} \times d_r^{-\frac{1}{3}} \times T_1^{-\frac{n}{3}} \times \frac{T_2 - T'}{OR} \quad \dots \dots \dots (11)$$

11

$$\begin{aligned} \log d\alpha = & 466.32 - 1.0561 \times 10^5 \times \frac{1}{Ae_3} + 5.9878 \times 10^5 \times \frac{1}{Ae_3^2} \\ & + 2.2783 \times 10^5 \times \frac{[C] \times \log(1+OR)}{Ae_3} - 2.4716 \times 10^5 \\ & \times \frac{[C] \times \log(1+OR)}{Ae_3^2} + 7.7229 \times 10^5 \times \frac{\log d_r}{Ae_3} \\ & - 7.9774 \times 10^5 \times \frac{\log d_r}{Ae_3^2} - \frac{1}{3} \log d_r - \log OR \quad \dots \dots \dots (12) \end{aligned}$$

ただし、単位は  $d\alpha$  ,  $d_r$  は  $\mu m$  ,  $Ae_3$  は絶対温度、  
 $C$  は % ,  $OR$  は  $^\circ C/sec$  であり、式の寄与率は表1  
に示す広い変域の対象材について  $R^2 = 0.97$  であ  
った。式の寄与率から明らかなように上式から極  
めて高い精度でフェライト粒径を推定することが  
できる。

このようにして求めたフェライト粒径を例え  
ば(1)式に代入することによつて、得られる鋼材の  
引張り強さが推定できる。又必要材質、引張り強

ただし  $A'$  は定数である。

両辺の対数を取り近似を行なうと次のようにな  
る。

$$\begin{aligned} \log d\alpha = & A_1 + A_2 \times \frac{1}{Ae_3} + A_3 \times \frac{1}{Ae_3^2} \\ & + A_4 \times \frac{[C] \times \log(1+OR)}{Ae_3} + A_5 \times \frac{[C] \times \log(1+OR)}{Ae_3^2} \\ & + A_6 \times \frac{\log d_r}{Ae_3} + A_7 \times \frac{\log d_r}{Ae_3^2} \\ & + A_8 \times \log Ae_3 - \frac{1}{3} \times \log d_r - \log OR \quad \dots (12) \end{aligned}$$

ただし  $A_8 \times \log Ae_3$  の項は寄与が小さいので省  
略してよい。

更に最小2乗法により  $A_1 \sim A_7$  の係数を決定し  
た。その結果の1例を以下に示す。

12

さから必要なフェライト粒径を(1)式から求めるこ  
とも可能である。

ところで本発明で使用するモデルを使用する場合、  
オーステナイト粒径の決定がキーポイントとな  
るがその確認方法には、直接測定法としてオン  
ライン超音波、X線を使つて測定する方法や、成  
分、加熱および圧延条件から推定する方法等があ  
る。

〔実施例〕

次に本発明による実施例を示す。実施例の供試  
材の成分系はいずれも  $O-Mn$  系で詳細も表1に示  
す。

表 1 実 施 例

O(wt%)	Si(wt%)	Mn(wt%)	P(wt%)	S(wt%)	CR(℃/s)	巻取り又は 冷却停止温度(℃)	$d_r(\mu m)$	実側 $d_a(\mu m)$	推定 $d_a(\mu m)$
0.04	0.23	1.18	0.020	0.010	2.7	550	29.7	70.5	70.0
"	"	"	"	"	2.7	450	25.0	20.9	21.0
0.085	0.20	0.27	0.020	0.024	5.0	450	20.0	12.0	11.8
"	"	"	"	"	5.0	550	80.0	20.0	19.5
"	"	"	"	"	16.0	450	40.0	12.0	12.0
"	"	"	"	"	16.0	550	80.0	16.0	16.0
0.096	0.015	0.55	0.015	0.013	10.0	450	81.0	15.4	15.3
"	"	"	"	"	50.0	550	81.0	11.6	11.3
0.137	0.022	0.72	0.018	0.004	5.0	450	59.0	12.5	12.5
"	"	"	"	"	20.0	450	59.0	9.1	9.0
"	"	"	"	"	35.0	550	11.6	7.7	7.7
"	"	"	"	"	100.0	550	9.4	6.2	6.2
"	"	"	"	"	150.0	550	9.5	6.0	6.0
0.138	0.008	0.60	0.024	0.012	5.0	450	44.9	10.5	10.5
0.174	0.017	1.22	0.020	0.003	5.0	450	50.0	8.82	8.9
"	"	"	"	"	20.0	550	65.8	8.51	8.5
0.20	0.51	1.51	0.002	0.0005	0.83	550	200.0	40.0	40.5
"	"	"	"	"	0.83	450	132.0	31.4	31.5

15

表1からわかるように冷却速度(CR)、オーステナイト粒径( $d_r$ )、成分がいかに変わろうと本発明によれば非常に高い精度でフェライト粒径( $d_a$ )を推定できることがわかる。

この実施例から既述のごとく、このフェライト粒径と材質の関係、例えば(1)式を用いることによつて材質予測をするか、あるいは、必要材質から必要フェライト粒径を求め、それを達成する冷却速度、オーステナイト粒径を本発明方法により求め、それらを目ざした熱間圧延、その後の冷却の規制を行なうことが可能となる。

以上の説明から明らかな通り本発明は熱間圧延後のオーステナイト粒径からその後の冷却によりどのようなフェライト粒径が得られるかを推定することを初めて可能ならしめたものであり、この方法により材質を精度よく推定するのに大きな力を発揮するものである。

#### 〔発明の効果〕

以上の説明から明らかなように本発明方法によれば、圧延後の冷却条件が変化しても必要な材質

を得るに必要なフェライト粒径を精度よく推定することが可能であり、かつ又生成したフェライト粒径から材質を推定でき、その結果鋼材の熱間圧延における材質推定精度が大幅に向上するという効果を奏することができ、これにより極めて効率のよい熱間圧延が可能となつて歩留りの向上、コストの低減等の大きな利益が得られる。

#### 4. 図面の簡単な説明

第1図は核生成と粒成長を記述する代表温度 $T_1$ 、 $T_2$ 及び粒成長の進行終了温度 $T'$ を示す図である。

代理人 弁理士 秋 沢 政 光

外 2 名

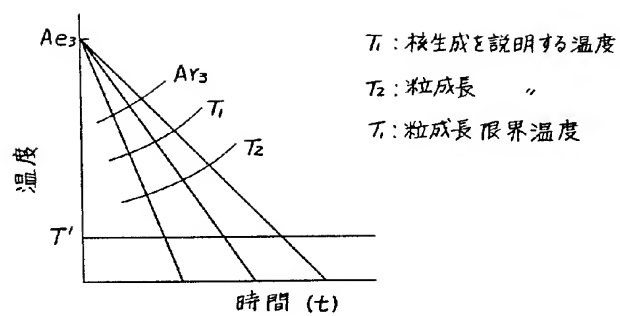


図1